

內 容 提 要

本書是2000瓩成套发电設備的制造叢書的第二册汽輪机部分。

本書首先闡明了2000瓩汽輪机的結構和特点，又詳尽地敘述了汽輪机各部件的制造和工艺过程；并附帶論述了汽輪机轉子和发电机轉子的动平衡找正問題。

本書可供从事汽輪机制造和修配工作的技术工人閱讀；也可供中等技术学校参考使用。

2000瓩成套发电設備的制造 第二册

汽 輪 机 部 分

水利电力部北京修造厂編著

*

1553R323

水利电力出版社出版(北京西便門外大街二里溝)

*北京市書刊出版登記證出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印 新华書店发行

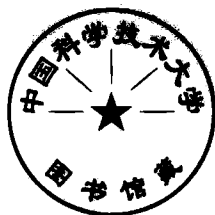
*

850×1168 $\frac{1}{16}$ 开本 * 1 $\frac{1}{16}$ 印張 * 45千字

1958年10月北京第1版

1958年10月北京第1次印刷(0001—5,100册)

統一書号: 15143·1220 定价(第9类)0.65元



2000瓩成套發電設備的制造

第 二 册

汽 輪 机 部 分

水利电力部北京修造厂編著

水利电力出版社

出版者的話

水利电力部北京修造厂在总路綫的光輝照耀下，自力更生，因陋就簡，利用原有的一些修配发电設備用的旧設備，在不足四个月的时间里，制成了成套的2000瓩发电設備。北京修造厂在試制过程中，發揮了冲天的干劲，創造出許多“以小干大”“螞蟻啃骨头”的方法。破除了修理厂不能制造設備的迷信，給今后修理厂搞制造作出了良好的榜样，創造了先进的經驗。

我社特約請北京修造厂的同志編写了这一套2000瓩成套发电設備的制造叢書，以便把他們的先进經驗向全国各地推广。全套叢書共分三冊：第一冊——鍋炉部分；第二冊——汽輪机部分；第三冊——发电机部分。

2000瓩发电設備正在清华大学安裝，在安裝的过程中，清华大学又用了不少土办法，这些宝貴的安裝經驗也將彙編成一套叢書由我社出版。

由于全国各地的迫切需要，編写的时间过于仓促，書中錯誤之处在所难免，欢迎讀者提出宝貴的意見。

目 录

第一章 汽輪机的主要結構及特点.....	4
1-1 汽輪机本体.....	5
1-2 調速系統.....	6
1-3 复水器.....	8
第二章 大型及重要鑄件的制造.....	9
2-1 汽輪机汽缸的鑄造.....	9
2-2 蒸汽室的鑄造.....	17
2-3 鑄鉄隔板的制造.....	23
第三章 大型及重要件的加工.....	38
3-1 汽缸的加工要領.....	38
3-2 蒸汽室的加工要領.....	41
3-3 隔板的加工要領.....	42
3-4 叶輪的加工要領.....	43
3-5 叶片安裝的要領.....	45
3-6 汽輪机轉子和发电机轉子的动平衡校正.....	47
第四章 經濟記錄及今后改进意見.....	52
4-1 計劃安排及經濟記錄.....	52
4-2 今后改进意見.....	54

第一章 汽輪機的主要結構及特點

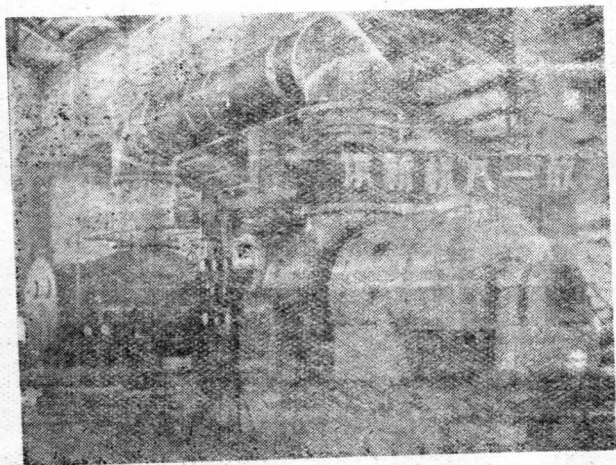


图1-1 汽輪发电機組总布置图

一般电厂多是兩层楼房和鋼筋混凝土的基础，而 C1-2000 瓩机的汽輪机本体(图 1-1 中部)、发电机(图 1-1 右部)及后水器(图 1-1 左部)同在一个平面，可以采用磚木結構的簡易厂房，或用較高的民房与庙宇代替，基础也可以用磚石及少量洋灰筑成。所以，这套机組安裝快，基建費用省，适用于农村。

在运行管理方面，本机組排列紧凑，采用机电运行多面手的方針，整套汽輪发电機組每班只需運轉員二人，較一般电厂兩层楼的情况少一人。其主要技术規格如下：

- | | |
|-------|--|
| 式样： | 單缸冲击凝汽式； |
| 額定出力： | 2500瓩(汽輪机設計容量为 2500 瓩，但因电机轉子系使用旧件，該旧件容量为 2000 瓩，无法增加容量，故汽机也只好暫作 2000瓩用)； |
| 正常轉速： | 3000轉/分； |

临界轉速： 2500轉/分；
主汽閥前蒸汽参数：23公斤/公分²(絕對压力)，385°C；
正常冷却水温度：25°C；
排汽压力： 0.07公斤/公分²(絕對压力)；
抽汽情况： 全負荷时压力 4公斤/公分²(絕對压力)；
全負荷时温度 250°C；
全負荷时抽汽量 1.65吨/时；
正常蒸汽参数全負荷时汽耗：不抽汽 5.2公斤/瓩时；
帶抽汽5.8公斤/瓩时。

1-1 汽輪机本体

汽輪机本体(图1-2, 見書末插頁)由轉子、汽缸及底座三部分組成。轉子上的零件除叶輪、主联軸器及其固定鍵与螺絲外，只有低压汽封甩汽环一件；汽封、推力盤和甩油环等則系与軸为一体。危急保安器另裝在軸头。有活动联軸器，与主油泵連接。为了制作簡便，叶片均設計为等断面倒T字叶根帶鉚釘头的样式。

汽缸包括：高低压汽缸、蒸汽室、隔板8段、噴咀与导叶环一付、汽封套和第1、2軸承座等。

限于我厂的鑄鋼設備，特將进入汽缸的最高蒸汽压力和温度設計为 4公斤/公分²(絕對压力)及 250°C，以便汽缸可全部使用鑄鉄。为此，噴咀采用扩散形汽道，經銑制而成。只有較輕之蒸汽室，因在新蒸汽压力及温度下工作，必須使用 25-4518碳素鑄鋼，如图1-3所示(見書末插頁)。調速汽門上蒸汽不平衡力很小，开閉輕便。門杆汽封圈为鋼片与鑄鉄圈組成，不易卡住或損坏。噴咀块嵌入蒸汽室槽中，并在里圓用压环固定，压环材料为 CT.25，便于与噴咀兩端填块(也是CT.25制)焊固。复速級的导叶环也固定在蒸汽室上。隔板均为全周进汽，因压差小，故全系采用鑄鉄隔板。高压汽缸(图1-4, 見書末插頁)上半有手孔盖，为檢查复速級汽叶間隙用；其下半在复速級动叶环的兩側形成擋板，以减少鼓风損失。

底座包括第1軸承座底盤(圖1-2之38)一塊及排汽缸貓爪支架兩塊,承受汽缸和汽輪機轉子的全部重量。汽缸與第1、3軸承座上有前後立銷(圖1-2之29及30),保持軸承與汽缸中心關係。低壓汽缸貓爪面與汽缸中心之距離僅225公厘,使排汽開車時汽輪機轉子與發電機轉子的中心關係變化較小。汽缸縱向膨脹則以第3軸承座為死點,向機頭方面膨脹滑動。

1-2 調速系統

參閱圖1-2及圖1-5(見書末插頁),C1型汽輪機的調速系統包括:①液壓調速器(詳圖1-6,見書末插頁);②直孔离心式主油泵(詳圖1-7,見書末插頁);③抽油器(詳圖1-8,見書末插頁);④汽動离心式輔助油泵(詳圖1-9,見書末插頁),⑤偏心環式危急保安器(詳圖1-10,見書末插頁);⑥冷油器(詳圖1-11,見書末插頁)。

最主要的部分調速器(詳圖1-6)是油壓活塞式,具有液壓反饋錐(1)及同步器(24、25)等裝置。調速器活塞(23)上部為一壓力彈簧(39),下部通過臼形聯杆(20、26),直接帶動錯油門芯杆(18)。活塞式伺服馬達(9)通過聯杆(1)上的齒條帶動齒輪與凸輪開閉調速汽門。整套調速器由螺絲固定在第1軸承座左面,如圖1-2所示;油則直接泄回到第1軸承箱里。錯油門採用斷流雙邊進油式,同時將芯杆作成鋸齒形漸開重疊度。因此,只要錯油門稍微移動一下,就足夠使全部可用力 S 作用到伺服馬達活塞上,故伺服馬達至調速汽門間的總阻力(小於可用力 S 時)不會使調速器的遲緩率增加。另一方面,調速器活塞及錯油門芯杆均設計有液壓自動就中眼孔,在運行中不致發生卡住及動作遲緩等毛病。因省去普通調速器中的蝸母組、飛錘及許多聯杆;不但結構簡單易制,運行可靠,而且可以節省較貴重的錫青銅約20公斤。

從包括主汽門(詳圖1-12,見書末插頁)的整個油系統來看,在運行中不會有油滴泄到蒸汽室和汽管上的可能。如此,就避免了由於這方面所引起的火災事故。

直接联在主軸上的主油泵，在主机轉速达到2200轉/分时，就可以单独担负起全部供油任务。由它引出的五条油路是：①至抽油器的噴咀入口；②經危急保安器至主汽門活塞下；③經錯油門至伺服馬达；④至調速器活塞下腔室；⑤經节流孔至調速器活塞上腔室，再分一路經同步器回第1軸承座，另分一路經反饋錐回第1軸承座。抽油器供低压油（1公斤/公分²）至各軸承及主油泵入口，油泵进口管也在正压下运行，保证了主油泵的可靠性。

当負荷減輕，汽輪机的轉速則隨之上升，即主油泵的轉速增高，主油泵的出口压力也相应增高。增大的油压傳到了調速器活塞下腔室，活塞上升，壓縮了調速器彈簧。同时，錯油門芯杆也向上移，使伺服馬达活塞下腔室經錯油門上部油口与压力油連通，而上腔室則与回油管道沟通。由于油压差的作用力使伺服馬达活塞向上走，关小調速汽門及反饋泄油隙。于是，机組轉速回降，脉动油压回落，調速器活塞上腔室的油压加大，另加上前次彈簧被壓縮所引起增加的張力，迫使調速器活塞相应向下移；而錯油門也跟着向下走，重新回到中間位置。当負荷增加时，整个过程按相反方向进行。如欲改变机組的轉速，只要轉动同步器手輪，变更同步器的泄油隙，調速器活塞上腔室的油压也跟着发生变化。它的泄油隙开大或关小，机組轉速就相应降低或升高。

参閱图1-5及图1-4，危急保安器的动作轉速可定在3240轉/分至3300轉/分間的某一点。若机組轉速超过規定的某一点时，偏心环所产生的离心力大于彈簧張力，它就飞出碰击危急保安器油門的挂鈎，使挂鈎与危急保安器芯杆脫开。芯杆遂借助頂部彈簧的張力而升起，遮断去主汽門活塞下的高压油，同时沟通全第1軸承座的回油通路，主汽門就立刻关闭。要想重开主汽門，必須先向关闭方向轉动主汽門手輪至底，然后壓縮危急保安器頂部彈簧及其芯杆，使芯杆与挂鈎叩住。这时，主汽門活塞下的油室就与兩条回油通道断开，而与压力油道接通恢复正常状态。用手輕击危急保安器頂部中心小柄，也能使挂鈎脫开关闭主汽門。

1-3 复水器

图1-13(見書末插頁)是复水器的本体图。在設計時曾經吸收了捷克2500列車式汽輪机复水器及西門子2000瓩汽輪机复水器的优点。其主要規格如下:

式样:	双路表面式;
冷却水进水温度:	25°C;
正常冷却水量:	为蒸汽量的90倍;
銅管尺寸:	$\phi 19/17 \times 2900$ 公厘;
銅管数量:	1630根;
冷却面积:	280公尺 ² ;
冷却水道阻力:	4公尺;
总重量:	6吨(不加水)。

在提高效率方面采取了下列各項措施: ①加大了上层管束(第2次通路)間的蒸汽流通面积, 得到較慢的蒸汽流速和較快的冷却水流速; 結果降低了压力損失, 并增加上层管束的冷却效能; ②在进汽部分留出汽道, 使中間管束也能充分發揮冷却效能; ③中間隔板上留有三角形的平衡孔, 因而隔板兩側汽負荷也較为均匀; ④在管束中間裝設接水板, 使板上层的凝結水不会滴触在下面的冷却管上, 这样就避免了凝結水再冷却, 并改善了蒸汽与下面冷却管的接触情况; ⑤在热水井部分設置有凝結水的回热装备, 有部分蒸汽从中間通道經复水器底部圓筒至回热管(图1-13之19)时, 必須通过凝結水構成的水簾使之重热, 所以凝結水的过冷度及含氧量等都可以得到改善。

为减少因清洗冷却水管而来的发电量損失, 設計成对分式水室, 在不停机的情况下可以刷洗銅管。

在節約制造工料方面采取管板直接焊固在筒体内壁, 不另制水室。較一般复水器不但可少用鋼材300公斤, 省鍛、車、鉗、焊工共約二十余个工, 并保證了真空部分的严密性。

第二章 大型及重要鑄件的制造

汽輪机鑄件的主要特点是：(1)大多外形复杂；(2)砂芯較多；(3)技术要求高。特别是汽缸与隔板等大型复杂鑄件，其机械强度和化学成份要求严格，加工后不允許有縮孔、砂眼、气孔与夾渣等缺陷，并需經過1.25~2倍于工作压力的严密性試驗。

制造此种复杂鑄件，一般說来，廢品率是很高的。我厂这次試制第一台2000瓩汽輪机，鑄造的部件共有93种(259件)，最大的鑄鉄件为后汽缸下部，毛重2230公斤，最大鑄鋼件为蒸汽室毛重700公斤，鑄造总重量20吨。

由于我厂設備和技术的基础都很薄弱，沒有制造全套設備的經驗；同时任务紧迫，工期要求急，从制木型到鑄造完成只不到兩個月的時間。当时的困难是很大的，仅制木型就需要一个半月；又如蒸汽室毛重700公斤，而我厂电炉設備只有500公斤，象这样的困难情况是很多的。

但是，在总路綫的光輝照耀下，我厂技術人員和工友首先在思想上政治上挂帅，能密切配合，認真地学习先进經驗，發揮了工人階級高度的积极性和創造性。終於克服了制造上的各种困难，提前完成了試制任务。如木工組創造骨格模型，和尽量采取刮板造型，省工省料提前完成了木型任务，这就給鑄造工作創造了有利条件。煉鋼組大胆嘗試了电炉超載熔煉法(使电炉超載100%)和发热冒口提高鋼水利用率等先进工艺，順利地完成了蒸汽室的鑄造。

2-1 汽輪机汽缸的鑄造

前汽缸是汽机的重要部件之一，它的上部和蒸汽室相接，工作温度 250°C 左右；汽压为3个大气压(表計压力)；該件平均厚度为55公厘，最厚处100公厘。上下部毛重2.2吨，根据圖紙要求

和汽缸工作的特殊情况，必須达到下面的技术要求：

(1) 上下部几何形状与尺寸应符合图紙規定，以保証汽缸能进入規定的蒸汽；

(2) 汽缸不能漏汽，并不得有縮孔、砂眼、夾渣等缺陷，并作 6 公斤/公分²的严密性試驗；

(3) 各加工面应保証有一定的裕量；

(4) 鑄件必須作时效处理；

(5) 机械性能与化学成份应符合CY24-44标准的要求，規定化学成份为：

C:	2.9~3.2%；
Si:	1.2~1.6%；
Mn:	0.8~1.2%；
P:	<0.3%；
S:	<0.8~0.12%。

(6) 金相組織要求珠光体基体。

試制工艺过程如下：

1. 工艺准备

(1) 開箱位置与造型方法的选择

a. 開箱用三箱造型(參看造型图2-1、2-2、2-3及2-4, 見書末插頁)；

6. 造型用刮板及部分实样；

b. 乾型鑄造。

(2) 木型制造规范

a. 加工裕量，根据汽缸要求的加工精度，參照国内和捷克的先进經驗，我厂規定如下：

加工精度	加工裕量
▽	10公厘
▽▽	12公厘
▽▽▽	16~20公厘

鑄件的頂部規定为20公厘。

6. 綫收縮率 0.8%。

(3) 型砂与芯砂規格

a. 型砂(按重量%):

粗白砂	40%
紅 砂	30%
黑 砂(旧砂)	30%
粘 土	1.5%

干碾 5 分鐘后, 加水 7~8% 湿碾 5 分鐘。

6. 芯砂:

旧石英砂	45%
紅 砂	15%
焦 末	25%
粘 土	15%

干碾 5 分鐘后, 加水 7~8% 湿碾 10 分鐘。

b. 型砂的物理性能:

型砂:

湿强度(公斤/公分 ²)	0.49
乾强度(公斤/公分 ²)	≥6.4
湿透气	150
乾透气	180

芯砂:

湿强度(公斤/公分 ²)	0.6~0.8
湿透气	150

r. 涂料:

黑鉛粉加 2~3% 粘土及水适量調和。

2. 造型工艺

(1) 泥芯的制造

上缸泥芯为 5 件, 下缸泥芯为 6 件; 在配制芯骨时, 应考虑
到芯子大小, 再来决定芯骨断面的大小。我們采用的芯骨断面为
15 公分², 因为芯子較重, 所以断面比一般規定大一些。为了使

鑄件收縮不受阻碍和互相連接的关系，泥芯吃砂厚度規定 100 ~ 150公厘。

在泥芯制造中，还需要注意通气的問題。大芯子中用焦炭填充，各个芯子單獨用 $\phi 10-20$ 的草繩或麻繩引出箱外；小芯子用蜡綫引出。

在手工操作制芯时，圓角部分应光滑坚固。

把芯子制好后，应刷涂料二次，烘乾修理后，再刷一次。

芯子的烘乾温度为 $250 \sim 300^{\circ}\text{C}$ ，延續時間为 8 ~ 10 小时，一直到完全烘乾为止。

(2) 外模制造

在造型之前，首先应确定鑄件的分型面及澆冒口系統的布置与尺寸。为了制造方便和易于下芯，我們采用了三箱造型。

a. 澆注系統的布置与設計：

为了获得良好的鑄件，在澆注系統的选择与布置上采用了双路阶梯形直澆口下注法。这种方式的特点能保証鉄水充滿砂型，上层澆口供給冒口以較热的鉄水，給鑄件补縮創造了良好的条件。內澆口及橫澆口均为搬渣式，避免溶渣流入而造成廢品（參看造型图 2-1 ~ 2-4，見書末插頁）。

a) 澆注時間的計算

公式为：
$$t = \delta_1 \sqrt[3]{fG}$$

t ——澆注時間(秒)；

f ——鑄件平均壁厚(公厘)；采用 55 公厘；

G ——鑄件(包括澆冒口)总鉄水重量(公斤)；根据圖紙計算，得出上缸毛重 1840 公斤，下缸毛重 1900 公斤，澆冒口重按 25% 計算；分別得出上缸 2275 公斤，下缸 2375 公斤。

δ_1 ——經驗系数 1.3 ~ 2，选用 1.3。

$t_{上} = 1.3 \sqrt[3]{2275 \times 55} = 65$ 秒，选用 60 秒。

下缸与上缸相同。

实际澆注結果：上缸为 50 秒，下缸为 49 秒，說明澆注速度快

了些。

6) 内澆口总面积的决定

公式为: $F = G / (\mu t 0.31 \sqrt{H})$.

F ——内澆口总面积(公分²);

G ——包括澆冒口的鑄件总重(公斤);

μ ——流量系数, 一般乾型0.6~0.4, 选用0.4;

t ——澆注时间(秒);

H ——有效压头高度(公分)。

底注法: $H = H_0 - \frac{C}{2}$;

H_0 ——内澆口到澆口杯高度(公分);

C ——鑄件高度(公分)。

上汽缸 $H = 145 - \frac{115}{2} = 87$ 公分。

$F = \frac{2275}{0.4 \times 60 \times 0.31 \times \sqrt{H}} = 32.3$ 公分²。

澆口面积比例采用:

$F_{\text{内}}:F_{\text{内直}}:F_{\text{横}}:F_{\text{直}} = 1:1:1.24:1.4$

决定的澆口尺寸与数量見造型图。

Б) 冒口的决定

根据鑄件的适当位置与有热节处布置冒口, 其重量按鑄件补縮区域重量的15%計算决定。

上汽缸:

軸承区 $\phi 200 / \phi 100 \times 450$ 二个

汽室法蘭 $\phi 130 / \phi 75 \times 500$ 二个

下汽缸:

軸承区 $\phi 130 / \phi 80 \times 400$ 二个

$\phi 100 / \phi 70 \times 400$ 一个

前頸区 $\phi 160 / \phi 80 \times 430$ 暗冒口 三个

冒口尺寸按下式計算:

冒口直徑 $D = 2T$ (下为冒口部分壁厚)

冒口高度 $H \geq 2D$ 以重量校正

冒口頸徑 $d \geq T \pm 0.15T$

冒口頸高 $h \leq \frac{1}{2}T$, 采用30。

澆注的結果，証明补縮情况良好。原来估計的毛重有出入，校正后，冒口佔鑄件重量的百分数在15%以下。

表 2-1

	鑄件重量 (公斤)	冒口重量 (公斤)	冒口数	冒口占鑄件重 %
上 缸	2210①	267	4	12
下 缸	2210①	321	6	14.5

① 实际称量毛重。

r) 外澆口杯 (2 个分东西兩端排列)

外澆口杯大致尺寸为：

長 × 寬 × 高 = (400 ~ 600) × (200 ~ 300) × (250 ~ 300)。

并采用拔塞及擋渣板防止渣子流入鑄型，渣板下部离底面間距15 ~ 20公厘。

6. 操作程序 (上下缸基本相同)

- 1) 木模尺寸檢查；
- 2) 造砂箱，吃砂厚度一般200公厘；
- 3) 造型；
- 4) 塗料；
- 5) 烘型，型砂烘乾湿度 $300 \sim 350^{\circ}\text{C} \geq 12$ 小时；
- 6) 合箱檢查外型；
- 7) 下芯檢查各部尺寸，并修理；
- 8) 准备好澆口杯及冒口箱；
- 9) 进行組裝，紧箱螺絲用 $\phi 254$ 根；
- 10) 砂箱尺寸：

中底箱 $2200 \times 1250 \times 450$

上 箱 $2200 \times 1250 \times 550$

3. 熔化及澆注情况

(1) 設備: 三排風口3.5吨/小时冲天炉, 并在主風口加氧。

(2) 澆注工具: 2 吨傾側式吊包兩個。

(3) 配料: 本溪^{#1}, ^{#2}生鉄 55%;

低炭廢鋼 45%;

75%矽鉄 0.15%;

87%錳鉄 0.6%。

(4) 鉄水出炉及澆注温度:

表 2-2

	工 艺 要 求	实 际
出 爐 溫 度 °C	1,400°C 以上	1,410~1420°C
澆 注 溫 度 °C	1,300±20°C	1,290~1340°C

(5) 炉前处理、檢查及澆注:

預先在鉄水包內加碱面0.5%以去硫, 然后在出鉄槽加入含矽75%的矽粉(5公厘左右)0.7~0.8%; 經孕育后, 三角試片白口深度15公厘。

(6) 澆注方法:

兩包同时澆注, 吊包距离澆口杯高度約250~300公厘。鉄水滿至冒口立即收包; 并以热鉄水冲冒口。

澆注時間: 上缸 50秒

下缸 49秒

澆后30分鐘松螺絲。

4. 鑄件材料試驗結果

化学成分: